

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

44

(11)Publication number : 10-197791

(43)Date of publication of application : 31.07.1998

(51)Int.Cl.

G02B 13/22

G02B 13/24

H01L 21/027

(21)Application number : 09-015870

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 13.01.1997

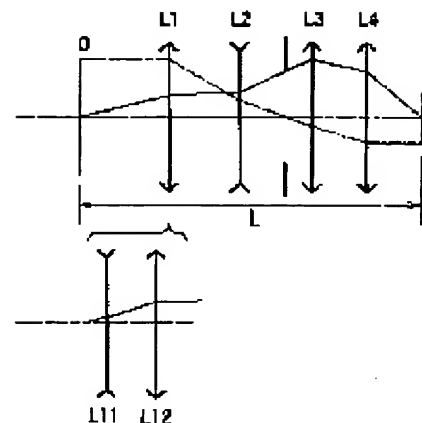
(72)Inventor : KATO TAKASHI

## (54) PROJECTION LENS

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain a projection lens which consists of a small number of constituent elements and has high resolving power and a wide exposure area secured and is telecentric on both the object and image sides.

**SOLUTION:** This projection lens consists of a 1st lens group L1 which has positive refracting power, a 2nd lens group L2 which has negative refracting power, a 3rd lens group L3 which has positive refracting power, a 4th lens group L4 which has positive refracting power, and a stop in or nearby the 3rd lens group L3 in order from the object side, and reduces and projects an image of a body on an image plane. This lens is telecentric on both the object side and image side and a conditional expression  $0 < 1/\beta_1 \leq 0.3$  holds for the lateral power  $\beta_1$  of the 1st lens group L1.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-197791

(43) 公開日 平成10年(1998) 7月31日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 2 B 13/22

G 0 2 B 13/22

13/24

13/24

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 1 5 D

審査請求 未請求 請求項の数9 F D (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平9-15870

(22) 出願日 平成9年(1997) 1月13日

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 加藤 隆志

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ

ノン株式会社内

(74) 代理人 弁理士 高梨 幸雄

(54) 【発明の名称】 投影レンズ

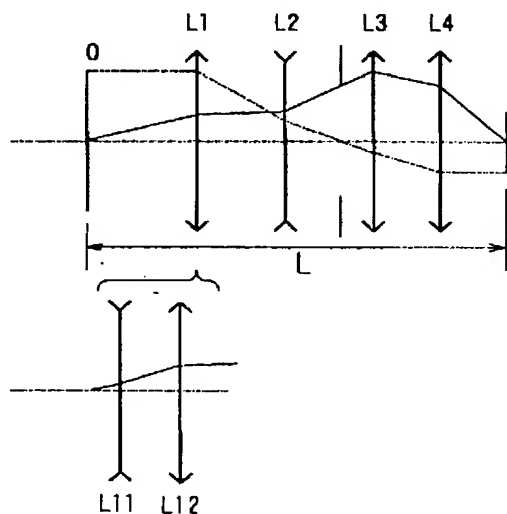
(57) 【要約】

【課題】 構成枚数が少なくかつ高解像力と広い露光領域を確保した物体側、像側共にテレセントリックな投影レンズを得ること。

【解決手段】 物体側より順に正の屈折力を有する第1レンズ群L1と、負の屈折力を有する第2レンズ群L2と、正の屈折力を有する第3レンズ群L3と、正の屈折力を有する第4レンズ群L4と、該第3レンズ群L3中若しくはその近傍に絞りとを有し、物体を縮小して像面上に投影すると共に物体側と像側が共にテレセントリックであり、該第1レンズ群L1の横倍率 $\beta_1$ が条件式

$$0 < 1/\beta_1 \leq 0.3$$

を満足している。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 物体側より順に正の屈折力を有する第1 レンズ群L1と、負の屈折力を有する第2 レンズ群L2と、正の屈折力を有する第3 レンズ群L3と、正の屈折力を有する第4 レンズ群L4と、該第3 レンズ群L3中若しくはその近傍に絞りとを有し、

物体を縮小して像面上に投影すると共に物体側と像側が共にテレセントリックであり、該第1 レンズ群L1の横倍率 $\beta_1$ が条件式

$$0 < 1/\beta_1 \leq 0.3$$

を満足していることを特徴とする投影レンズ。

【請求項 2】 前記第1 群L1の最も物体側のレンズは物体側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズであり、前記第2 群L2は複数の負レンズを有し、前記第4 群L4の最も像側のレンズは物体側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズであることを特徴とする請求項 1 の投影レンズ。

【請求項 3】 前記第1 レンズ群L1は物体側より順に少なくとも負の屈折力を有する前群L11 と正の屈折力を有する後群L12 にて構成され、該前群の焦点距離 $f_{11}$  と該後群の焦点距離 $f_{12}$  が条件式

$$0.2 < |f_{12}/f_{11}| < 0.8$$

を満足していることを特徴とする請求項 1 又は 2 の投影レンズ。

【請求項 4】 前記第2 レンズ群L2の横倍率 $\beta_2$  及び焦点距離 $f_2$ が以下の条件式

$$0 < \beta_2 < 0.15$$

$$0.05 < |f_2/L| < 0.15$$

但し、L:物体面から像面までの距離

を満足することを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の投影レンズ。

【請求項 5】 前記第3 レンズ群L3の横倍率 $\beta_3$  が条件式

$$|1/\beta_3| < 0.4$$

を満足することを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の投影レンズ。

【請求項 6】 前記第4 レンズ群L4が以下の条件式

$$0.015 < \{f_4 \cdot (1 - \beta_4) + H_4'\} / L < 0.15$$

但し、 $\beta_4$ :第4 レンズ群L4の横倍率

$H_4'$ :L4群の最終面から後側主点位置までの距離

L:物体面から像面までの距離

を満足することを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の投影レンズ。

【請求項 7】 レーザー光源からの光を照明光学系を介して第1 物体に照射し、該第1 物体上のパターンを請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の投影レンズで第2 物体上に投影して露光することを特徴とする投影露光装置。

【請求項 8】 レーザー光源からの光を照明光学系を介して第1 物体に照射し、該第1 物体上のパターンを請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の投影レンズで第2 物体

上に該第1 物体と第2 物体の双方を該投影レンズの光軸と垂直方向に該投影レンズの投影倍率に対応させた速度比で同期させて走査して投影して露光することを特徴とする投影露光装置。

【請求項 9】 請求項 7 又は 8 の投影露光装置を用いてレチクル上のパターンを前記投影光学系によりウエハ面上に投影露光した後、該ウエハを現像処理工程を介してデバイスを製造することを特徴とするデバイスの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は投影レンズに関し、例えばICやLSI等のデバイスやCCD等の撮像デバイスや液晶パネル等の表示デバイスや磁気ヘッド等をリソグラフィ工程を用いて製作するのに好適なものである。

## 【0002】

【従来の技術】最近の半導体素子の製造技術の進展は目覚ましく、またそれに伴う微細加工技術の進展も著しい。特にその光加工においてはサブミクロンの解像力を有する縮小投影露光装置、通称ステッパーを用いることが主流であり、さらなる解像力向上に向けて投影レンズの開口数(NA)の拡大や、露光波長の短波長化が計られている。

【0003】従来より投影露光装置を用い、IC、LSI等の半導体素子のパターンをシリコン等のウエハに焼き付けるための投影レンズには非常に高い解像力が要求される。一般に光学レンズによる投影像の解像力は使用する波長が短くなる程良くなるので、できる限りの短波長を放射する光源が用いられている。例えば短波長の光源としては、ArF やKrF エキシマレーザーが注目されている。

【0004】ところでこれらエキシマレーザーの波長域においてはレンズ材料として、使用可能な硝材が石英と螢石に限られてくる。これは主に透過率の低下に起因するものである。更にこの石英や螢石に於いても従来のようにレンズの構成枚数が多く全硝材厚が厚い投影レンズではレンズの熱吸収による焦点位置の変動などの問題が生じることになる。

【0005】そこで、光学系の構成枚数を大幅に少なくし、レンズ系の硝材全肉厚が非常に小さい縮小投影レンズが提案されている。例えば特公平 7-48089号公報等では、明るく高解像な投影像の得られる光学系が提案されている。

【0006】また、特開平 5-34593号公報等では物体側、像側共にテレセントリック系として構成した系が提案されている。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、特公平 7-48089 号公報等における光学系は、物体側においてテレセントリック光学系ではなく、物体面(レチクル面)

の反りによる像歪みの影響が懸念され好ましい構成であるとは言い難い。

【0008】また、特開平 5-34593号公報等に提案されている光学系は両側テレセントリック系にて構成されているが、第1群の倍率 $\beta$ が最大で $2.5(1/\beta=0.4)$ 程度であり、第1群の倍率が小さい為に軸上マージナル光線が第2群で高くなるので、高解像力と広い露光領域を確保できていない。

【0009】本発明は、高解像力と広い露光領域を確保した物体側、像側共にテレセントリックな投影レンズの提供を目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の投影レンズは、

(1-1) 物体側より順に正の屈折力を有する第1 レンズ群L1と、負の屈折力を有する第2 レンズ群L2と、正の屈折力を有する第3 レンズ群L3と、正の屈折力を有する第4 レンズ群L4と、該第3 レンズ群L3中若しくはその近傍に絞りとを有し、物体を縮小して像面上に投影すると共に物体側と像側が共にテレセントリックであり、該第1 レンズ群L1の横倍率 $\beta_1$ が条件式

$$0 < 1/\beta_1 \leq 0.3$$

を満足していること等の特徴としている。

【0011】特に、

(1-1-1) 前記第1 群L1の最も物体側のレンズは物体側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズであり、前記第2 群L2は複数の負レンズを有し、前記第4 群L4の最も像側のレンズは物体側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズである。

(1-1-2) 前記第1 レンズ群L1は物体側より順に少なくとも負の屈折力を有する前群L11 と正の屈折力を有する後群L12 にて構成され、該前群の焦点距離 $f_{11}$  と該後群の焦点距離 $f_{12}$  が条件式

$$0.2 < |f_{12}/f_{11}| < 0.8$$

を満足している。

(1-1-3) 前記第2 レンズ群L2の横倍率 $\beta_2$  及び焦点距離 $f_2$ が以下の条件式

$$0 < \beta_2 < 0.15$$

$$0.05 < |f_2/L| < 0.15$$

但し、L:物体面から像面までの距離

を満足する。

(1-1-4) 前記第3 レンズ群L3の横倍率 $\beta_3$  が条件式

$$|1/\beta_3| < 0.4$$

を満足する。

(1-1-5) 前記第4 レンズ群L4が以下の条件式

$$0.015 < \{f_4 \cdot (1 - \beta_4) + H_4'\} / L < 0.15$$

但し、 $\beta_4$ :第4 レンズ群L4の横倍率

$H_4'$ :L4群の最終面から後側主点位置までの距離

L:物体面から像面までの距離

を満足すること等の特徴としている。

【0012】又、本発明の投影露光装置は、

(1-2) レーザー光源からの光を照明光学系を介して第1 物体に照射し、該第1 物体上のパターンを(1-1)～(1-1-5) 項のいずれか1 項に記載の投影レンズで第2 物体上に投影して露光する。

(1-3) レーザー光源からの光を照明光学系を介して第1 物体に照射し、該第1 物体上のパターンを(1-1)～(1-1-5) 項のいずれか1 項に記載の投影レンズで第2 物体上に該第1 物体と第2 物体の双方を該投影レンズの光軸と垂直方向に該投影レンズの投影倍率に対応させた速度比で同期させて走査して投影して露光する。こと等の特徴としている。

【0013】又、本発明のデバイスの製造方法は、

(1-4) (1-2) 項又は(1-3) 項の投影露光装置を用いてレチクル上のパターンを前記投影光学系によりウエハ面上に投影露光した後、該ウエハを現像処理工程を介してデバイスを製造すること等の特徴としている。

【0014】

【発明の実施の形態】図1 は本発明の投影レンズの基本構成図である。本発明の投影レンズは物体側0 から順に正の屈折力を持つ第1 レンズ群L1、強い負の屈折力を持つ第2 レンズ群L2、正の屈折力を持つ第3 レンズ群L3、正の屈折力を持つ第4 レンズ群L4の4群から成っている。更に、第1 レンズ群は物体側から負の屈折力を持つ第11レンズL11、正の屈折力を持つ第12レンズ群L12 から構成している。又、第4 レンズ群は物体側から正の屈折力を持つ第41レンズL41、負の屈折力を持つ第42レンズ群L42 を有している。絞りは第3 レンズ群中若しくはその前又は後ろに設けている。

【0015】図1 には軸上物点のマージナル光線と軸外物点からの主光線の光路を図示している。マージナル光線は第1 レンズ群L1によって傾角が緩められ、次いで第2 レンズ群L2によって傾角が増す。その後、絞りの縁を通った後第3 レンズ群L3によって傾きが逆、即ち右下がりの光線となり、第4 レンズ群L4により更に傾角を強められて像点に到達する。

【0016】一方、軸外物てんから出る主光線は光軸と平行に射出し、第1 レンズ群L1によって右下がりの光線となり、第2 レンズ群L2によって傾きが緩められ、絞り中心を通った後第3 レンズ群L3で僅かに傾きが緩められ、次いで第4 レンズ群L4によって光軸と平行になり像面に到達する。

【0017】以上のように本発明の投影レンズは物体側と像側の両側においてテレセントリックな光学系となっている。

【0018】本発明の投影レンズは、物体側においてテレセントリック光学系を構成するために、物体側の第1 レンズ群L1には正の屈折力を有するレンズ群を用いている。更に、第1 レンズ群L1の横倍率 $\beta_1$  は以下の条件式(1)の範囲に規定している。

【0019】  $0 < 1/\beta_1 \leq 0.3$  . . . (1)

式(1)の上限値を越えると、第2 レンズ群L2への軸上光線の入射高が高くなり第2 レンズ群L2において高次の球面収差が発生してしまう。また、下限値を越えると第1 レンズ群L1の焦点距離が一定の場合、必要以上に物体と第1 レンズ群L1の前側主点位置が離れ過ぎてしまい、全系が大型化してしまう。また、物体0 と第1 レンズ群L1の前側主点位置の距離を一定とすると第1 レンズ群L1の焦点距離が短くなり、大きな画角が得られなくなる。

【0020】更に第1 レンズ群L1は少なくとも負の屈折力を有する第11レンズ群(前群)L11と正の屈折力を有する第12レンズ群(後群)L12とで構成することが好ましい。このように第1 レンズ群L1を物体側より負、正の順に2つの群で構成することで、第1 レンズ群L1をレトロフォーカスタイプとし、第1 レンズ群L1の主点位置を像面側に移動させている。

【0021】そしてこのような配置をとることにより、物体面と第1 レンズ群L1の第1面との間隔を効果的に縮めることが可能となり、光学系をコンパクトに構成することができるとともに、第1 レンズ群L1の非点収差と像面湾曲の劣化を補正できる。

【0022】また第1 レンズ群L1中の前側に負の屈折力を有する第11レンズ群L11を配置することで第4 レンズ群L4との対称性も良くなり画面全体にわたり歪曲収差を良好に補正し、マスクパターンを歪みなく結像することを可能としている。

【0023】更に、軸上物点のマージナル光線高が低い第1 レンズ群L1に負レンズを配置することで像面湾曲を良好に補正している。

【0024】また、第1 レンズ群L1を構成する2つのレンズ群の焦点距離は以下の条件式を満たすことがより望ましい。

【0025】  $0.2 < |f_{12}/f_{11}| < 0.8$  . . . (2)

$f_{11}$ : 第11レンズ群L11の焦点距離

$f_{12}$ : 第12レンズ群L12の焦点距離

式(2)は、第1 レンズ群L1を構成する第11レンズ群L11及び第12レンズ群L12の焦点距離の比率を規定するものである。つまり、第11レンズ群L11と第12レンズ群L12によるレトロフォーカスの配置においてその度合いを示すものである。

【0026】式(2)の上限を越えると、第12レンズ群L12の焦点距離 $f_{12}$ に対して第11レンズ群L11の焦点距離 $f_{11}$ がかなり短くなり、前述の補正効果が過剰となり、第1レンズ群L1にて諸収差が大きく発生して補正しきれなくなる。更に、第1 レンズ群L1に望まれる焦点距離を達成するためには第11レンズ群L11と第12レンズ群L12をかなり離して配置する必要がある、第1 レンズ群L1の有効径が極端に大きくなってしまふ。

【0027】一方、式(2)の下限値を越えると、前述のレトロフォーカス配置の効果が不足する。

【0028】次に、第1 レンズ群L1を出射した光束は強い負の屈折力を有する第2 レンズ群L2によって、強い発散光束となる。この第2 レンズ群L2は、第1 レンズ群L1から入射する光束の光線高が低く抑えられていることで強い負の屈折力を与えることができ、その結果、ベッツバル和を補正し、画面全体の像面湾曲を良好に補正している。

【0029】但し第2 レンズ群L2については、強い負の屈折力を有しているため、強い正の球面収差が発生する。そこで本発明の投影レンズではここに非球面を導入することによりレンズ構成枚数を極端に増加させることなく良好に球面収差を補正している。

【0030】また、第2 レンズ群L2の横倍率 $\beta_2$ を以下の条件式(3)の範囲内にすることが望ましい。

【0031】  $0 < \beta_2 < 0.15$  . . . (3)

式(3)の上限値を越えると、第1 レンズ群L1における横倍率 $\beta_1$ を前記条件内に確保しようとすると、全系の所定の倍率を確保するのが難しくなる。また全系の所定の倍率を確保するために、第1 レンズ群L1における横倍率 $\beta_1$ を低下させると、第2 レンズ群L2に入射する光線高が大きくなり、諸収差を十分補正することが困難になる。

【0032】また、式(3)の下限値を越えると、第1 レンズ群L1からの軸上光束が収束光となり、全系の所定の倍率を確保するために第1 レンズ群L1の焦点距離 $f_1$ 及び第2レンズ群L2の焦点距離 $f_2$ が短くなってしまい、歪曲等の軸外収差及び正の球面収差を補正することが困難になる。

【0033】また、以下の式(4)は第2 レンズ群L2の焦点距離 $f_2$ を規定する条件式である。本条件式を満足することにより、更に効果的な収差補正を行なうことができる。

【0034】  $0.05 < |f_2/L| < 0.15$  . . . (4)

但し、L:物体面から像面までの距離(物像間距離)

式(4)の上限値を越えると、第2 レンズ群L2の焦点距離 $f_2$ が長くなりベッツバル和を十分に補正できない。また下限値を越えると、負の屈折力が強すぎて、より強い正の球面収差が発生してしまうとともに第3 レンズ群L3の屈折力もかなり強くする必要がでてくるために諸収差を補正することが非常に困難になる。

【0035】第3 レンズ群L3は第2 レンズ群L2からの発散光束を収束光或いは平行光束に近い状況にするために、正の屈折力を有する。この第3 レンズ群L3の強い正の屈折力により、第4 レンズ群L4への光線の入射高を高くならないようにして第4 レンズ群L4における高次収差の発生を抑えている。更にこれによって、第2 レンズ群L2の屈折力をも強くすることができるために第2 レンズ群L2による像面湾曲の補正を良好に行なうことができる。

【0036】また、第3 レンズ群L3の横倍率 $\beta_3$ は以下

の条件式を満足することが好ましい。

【0037】 $|1/\beta_3| < 0.4$  . . . (5)

式(5)の上限値を越えると、第3 レンズ群L3の横倍率の値 $\beta_3$ が絶対値で小さくなる。即ち、そのような倍率を達成するには、第3 レンズ群L3の焦点距離をより短くするか或いは第2 レンズ群L2との主点間隔を大きくすることになる。前者の場合、第3 レンズ群L3にて発生する強い負の球面収差及びコマ収差を補正することが非常に困難になる。後者の場合、主点間隔が大きすぎると第2 レンズ群L2からの発散光束により第3 レンズ群L3の有効径が大きくなってしまう。

【0038】第4 レンズ群L4は像側においてテレセントリック光学系を構成するために、正の屈折力を有するレンズ群を用いている。更に、この第4 レンズ群L4は物体側から順に少なくとも正の屈折力を有する第41レンズ群（前群）L41と負の屈折力を有する第42レンズ群（後群）L42を有することが望ましい。この2つの群を物体側より正、負の順に配置することで、第4 レンズ群をテレフォトタイプとし、第4 レンズ群L4の主点位置を物体側に移動させている。

【0039】このような配置をとることにより、第4 レンズ群L4を高NAにした際に球面収差とコマ収差の値を小さくできるため、比較的少ない枚数で第4 レンズ群L4を構成できる。

【0040】但し、この群においては更に以下の条件式をも同時に満足することが望ましい。

【0041】 $0.015 < \{f_4 \cdot (1 - \beta_4) + H_4'\} / L < 0.15$  . . . (6)

但し、 $f_4$ :第4 レンズ群L4の焦点距離、

$\beta_4$ :第4 レンズ群L4の横倍率

$H_4'$ :第4 レンズ群L4の最終面から後側主点位置までの距離

式(6)中の $\{f_4 \cdot (1 - \beta_4) + H_4'\}$ は第4 レンズ群L4の最終面から像面までの距離、即ちバックフォーカスであり、式(6)は第4 レンズ群L4のバックフォーカスを確保するための条件である。式(6)の上限値を越える場合、第4 レンズ群L4の横倍率 $\beta_4$ を一定とすると、(イ)第4 レンズ群L4の最終面から後側主点位置までの距離 $H_4'$ が一定の時、第4 レンズ群L4の焦点距離 $f_4$ が長くなってしまふ、または、(ロ)第4 レンズ群L4の焦点距離 $f_4$ を一定とするとレンズ最終面から後側主点位置までの距離 $H_4'$ が短くなってしまふために画角に対するコマ収差の変動が大きくなり大画角が得にくい、等の問題が生じてしまふ。

【0042】また、第4 レンズ群L4のレンズ最終面から後側主点位置までの距離 $H_4'$ 及び第4 レンズ群L4の焦点距離 $f_4$ が一定であるとする、第4 レンズ群L4の横倍率 $\beta_4$ はマイナス値を取り、第3 レンズ群L3の倍率をプラス値にする必要がある。従って、第4 レンズ群L4に入射する光線高が高くなり、第4 レンズ群L4の有効径が大き

くなってしまふ。

【0043】また、式(6)の下限値を越える場合、バックフォーカスを確保することが困難になる。

【0044】更に、第4 レンズ群L4の最終レンズに負の屈折力の強い面を持たせることで、ベッツバル和にも有利な構成となっている。但し、ベッツバル和の補正に関して言えば、最終レンズは必ずしも負の屈折力を有する必要はなく、正の屈折力を有するレンズの肉厚を厚くすることによってもベッツバル和を補正することが可能である。

【0045】以下に本発明の数値実施例1〜3を示す。

図2〜4は、それぞれ本発明の数値実施例1〜3のレンズ構成図であり、図中L1〜L4は各々第1〜4 レンズ群を示す。また、図5〜7はそれぞれ上記数値実施例の収差図である。収差図中、 $\Delta S$ はサジタル像面、 $\Delta M$ はメリジオナル像面を示す。

【0046】図2は本発明の投影光学系の数値実施例1のレンズ断面図である。本数値実施例では、投影倍率 $\beta = -0.25$ 、像側開口数 $NA = 0.50$ 、物像間距離（物体面〜像面の距離） $L = 1000$ 、基準波長 $193\text{nm}$ 、画面範囲は $\phi 29\text{mm}$ である。

【0047】数値実施例1の具体的なレンズ構成は、以下の通りである。まず正の屈折力を有する第1 レンズ群L1は、物体側から順に物体側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ、物体側に凹面を向けたメニスカス形状の正レンズ、両凸形状の正レンズ、及び像側に凹面を向けたメニスカス形状の正レンズよりなる。そして、最も物体側の負レンズが第11レンズ群L11であり、その他のレンズが第12レンズ群L12を構成している。

【0048】そして、負の屈折力を有する第2 レンズ群L2は、物体側から順に物体側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ、両凹形状の負レンズ2枚よりなる。第3 レンズ群L3は、物体側から順に像側に強い凸面を向けた正レンズ、両凸形状の正レンズよりなる。

【0049】第4 レンズ群L4は、物体側から順に物体面に凸面を向けた正レンズ、両凸形状の正レンズ、像側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズよりなる。そして、物体側の2つの正レンズが第41レンズ群L41を構成しており、最後の負レンズが第42レンズ群L42を構成している。

【0050】図3は本発明の数値実施例2の投影光学系のレンズ断面図を示している。本数値実施例では、投影倍率 $\beta = -0.25$ 、像側開口数 $NA = 0.50$ 、物像間距離（物体面〜像面の距離） $L = 1000$ 、基準波長 $193\text{nm}$ 、画面範囲は $\phi 25\text{mm}$ である。

【0051】数値実施例2の具体的なレンズ構成は、以下の通りである。まず正の屈折力を有する第1 レンズ群L1は、物体側から順に物体側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ、物体側に凹面を向けたメニスカス形状の正レンズ、両凸形状の正レンズよりなる。そして、最

も物体側の負レンズが第11レンズ群L11であり、その他のレンズが第12レンズ群L12を構成している。

【0052】そして、負の屈折力を有する第2レンズ群L2は、物体側から順に物体側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズ、両凹形状の負レンズよりなる。第3レンズ群L3は、両凸形状の正レンズよりなる。そして、絞りは第3レンズ群の直前に設けている。

【0053】第4レンズ群L4は、物体側から順に物体面に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ、両凸形状の正レンズ、像側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズよりなる。そして、物体側の2つの正レンズが第41レンズ群L41を構成しており、最後の負レンズが第42レンズ群L42を構成している。

【0054】図4は本発明の数値実施例3の投影光学系のレンズ断面図を示している。本数値実施例では、投影倍率 $\beta = -0.25$ 、像側開口数 $NA = 0.48$ 、物像間距離（物体面～像面の距離） $L = 1000$ 、基準波長 $193\text{nm}$ 、画面範囲は $\phi 29\text{mm}$ である。

【0055】数値実施例3の具体的なレンズ構成は、以下の通りである。まず正の屈折力を有する第1レンズ群L1は、物体側から順に物体側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ、物体側に凹面を向けたメニスカス形状の正レンズ、両凸形状の正レンズよりなる。そして、最も物体側の負レンズが第11レンズ群L11であり、その他のレンズが第12レンズ群L12を構成している。

【0056】そして、負の屈折力を有する第2レンズ群

物体面～第1面距離：95mm

i	$r_i$	$d_i$	
1	848.666	12.79	$n_1 = 1.56000$
2	199.581	30.74	
3	-164.827	28.15	$n_2 = 1.56000$
4	-147.180	4.00	
5	243.560	39.91	$n_3 = 1.56000$
6	-458.267	0.30	
7	342.628	37.75	$n_4 = 1.56000$
8	1538.679	123.36	
9	223.469	12.79	$n_5 = 1.56000$
10	212.246	14.74	
11	-820.802	12.94	$n_6 = 1.56000$
12	213.472	21.00	
13	-132.160	12.79	$n_7 = 1.56000$
14	146.984	109.34	
15	-20560.189	37.75	$n_8 = 1.56000$
16	-168.791	0.10	
17	$\infty$ （絞り）	40.44	
18	1570.355	40.45	$n_9 = 1.56000$
19	-345.849	129.70	
20	216.391	29.80	$n_{10} = 1.56000$
21	2629.844	12.00	
22	175.682	40.99	$n_{11} = 1.56000$

L2は、物体側から順に物体側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズ、両凹形状の負レンズよりなる。第3レンズ群L3は、両凸形状の正レンズ2枚よりなる。そして、絞りは第3レンズ群の中に設けている。

【0057】第4レンズ群L4は、物体側から順に物体面に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ、両凸形状の正レンズ、像側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズよりなる。そして、物体側の2つの正レンズが第41レンズ群L41を構成しており、最後の負レンズが第42レンズ群L42を構成している。

【0058】以下に上記の数値実施形態の構成諸元を示す。数値実施形態において、 $r_i$ は物体側より順に第i番目のレンズ面の曲率半径、 $d_i$ は物体側より順に第i番目のレンズ厚及び空気間隔、 $n_i$ は物体側より順に第i番目のレンズのガラスの屈折率を示すものとする。

【0059】また、非球面の形状は次式

【0060】

【数1】

$$X = \frac{H^2/r_i}{1 + \{1 - (1+K) \cdot (\pi/r_i)^2\}^{1/2}} + A \cdot H^2 + B \cdot H^4 + C \cdot H^6 + D \cdot H^8 + F \cdot H^{10}$$

で与えられるものとする。ここに、Xはレンズ頂点から光軸方向への変位量、Hは光軸からの距離、 $r_i$ は曲率半径、Kは円錐定数、A、B、C、D、E、Fは非球面係数である。

（数値実施例1）

23	-931.263	7.30	
24	119.617	41.35	n12=1.56000
25	73.064		

非球面係数

i	K	A	B	C
2	-2.7083e+00	0.0e0	1.9894e-08	1.7830e-12
4	1.6488e-01	0.0e0	8.1295e-09	5.1981e-13
5	4.8089e-01	0.0e0	2.2111e-09	8.2532e-13
10	0.0000e+00	0.0e0	6.3398e-09	2.5785e-11
12	-2.2550e+00	0.0e0	-5.2931e-08	-4.1188e-11
13	4.3759e+00	0.0e0	-1.1821e-07	3.4855e-11
16	-3.1495e-01	0.0e0	2.4015e-09	-1.9098e-14
18	-4.1404e+01	0.0e0	-1.5502e-09	-1.9709e-13
20	-2.2013e-01	0.0e0	-6.0362e-09	-2.1515e-13
22	-2.0888e-01	0.0e0	-1.0321e-08	-9.1351e-13
25	5.7316e-01	0.0e0	-9.3930e-08	-2.6574e-11

i	D	E	F
2	-1.1861e-17	-4.7686e-20	3.1621e-24
4	2.6131e-17	8.2690e-22	7.8357e-25
5	-1.2593e-17	-4.0843e-21	1.0271e-25
10	7.7499e-15	-9.0794e-19	6.1929e-22
12	-3.2975e-15	-5.3927e-18	2.1809e-21
13	1.6381e-14	-3.9831e-18	4.0516e-21
16	1.1953e-17	-1.8894e-22	4.6717e-26
18	9.2742e-18	-1.3579e-22	8.9188e-27
20	-2.1115e-17	-4.7427e-22	-3.1101e-26
22	7.6415e-18	3.2466e-21	7.0419e-26
25	-1.2390e-14	1.7619e-18	-1.7255e-21

(数值实施例 2)

物体面～第 1 面距離 : 95mm

i	r <sub>i</sub>	d <sub>i</sub>	
1	974.986	11.86	n 1=1.56000
2	174.677	27.23	
3	-280.455	26.09	n 2=1.56000
4	-179.462	5.00	
5	221.711	37.09	n 3=1.56000
6	-268.706	180.00	
7	-120.462	11.86	n 4=1.56000
8	-190.956	20.00	
9	-182.895	11.86	n 5=1.56000
10	131.116	135.02	
11	∞ (絞り)	32.11	
12	332.596	44.47	n 6=1.56000
13	-201.079	144.42	
14	156.062	21.95	n 7=1.56000
15	172.057	40.98	
16	162.000	37.95	n 8=1.56000
17	-692.789	5.00	
18	82.719	56.26	n 9=1.56000
19	56.781		



## 非球面係数

i	K	A	B	C
2	0.0000e+00	0.0e0	2.8906e-08	2.4011e-12
4	-3.0723e-01	0.0e0	-2.2467e-08	-9.1420e-13
5	9.0405e-01	0.0e0	3.1268e-09	8.7128e-13
8	0.0000e+00	0.0e0	-9.2437e-08	3.6065e-11
9	3.9038e+00	0.0e0	-7.8299e-08	4.4624e-11
12	-5.9922e+00	0.0e0	-1.2789e-08	-5.0237e-13
14	4.4079e-02	0.0e0	-1.9867e-08	1.7455e-13
16	4.6998e-02	0.0e0	-4.6069e-10	-1.4508e-12
19	2.9990e-01	0.0e0	1.6088e-07	3.5381e-11
i	D	E		
2	-6.1565e-17	-5.4164e-20		
4	-8.7940e-17	2.3923e-21		
5	-2.5228e-17	-6.8802e-21		
8	4.0366e-15	6.7747e-19		
9	8.5671e-15	0.0000e+00		
12	2.3947e-17	-3.5616e-22		
14	8.7496e-17	-1.7261e-21		
16	-2.1682e-16	2.2915e-21		
19	1.0562e-14	-7.4673e-18		

(数值实施例 3)

物体面～第 1 面距離：95.850mm

i	r <sub>i</sub>	d <sub>i</sub>	
1	709.688	11.86	n 1=1.56000
2	174.079	29.23	
3	-371.211	26.09	n 2=1.56000
4	-228.182	5.69	
5	189.538	33.95	n 3=1.56000
6	-352.850	193.29	
7	-123.270	11.86	n 4=1.56000
8	-429.776	20.00	
9	-111.839	11.86	n 5=1.56000
10	207.619	108.57	
11	1177.869	35.00	n 6=1.56000
12	-253.729	3.00	
13	∞ (絞り)	31.98	
14	381.823	37.50	n 7=1.56000
15	-357.627	120.86	
16	166.912	21.95	n 8=1.56000
17	146.252	44.69	
18	144.218	37.71	n 9=1.56000
19	-478.446	5.00	
20	89.025	46.23	n10=1.56000
21	64.459		

## 非球面係数

i	K	A	B	C
2	0.0000e+00	0.0e0	-2.2865e-08	3.2666e-12
4	-1.4269e-02	0.0e0	-1.9244e-08	-1.0393e-12
5	-5.5303e-01	0.0e0	-3.4715e-09	8.0275e-13

8	0.0000e+00	0.0e0	-1.8839e-07	-1.7530e-13
9	1.8453e+00	0.0e0	-1.2264e-07	1.7172e-11
12	6.4388e-01	0.0e0	-4.0311e-09	-1.3180e-13
14	-4.9807e+00	0.0e0	-1.0757e-08	-5.1969e-13
16	1.3584e-02	0.0e0	-2.0572e-08	3.6915e-13
18	6.8209e-02	0.0e0	-1.6711e-09	-1.6442e-12
21	2.0654e-01	0.0e0	1.2188e-07	2.9972e-11
i	D	E		
2	2.6269e-18	-2.6087e-20		
4	-3.1174e-17	-1.6240e-22		
5	3.5720e-17	-4.2913e-21		
8	2.0169e-15	2.8074e-18		
9	5.4145e-15	5.0618e-18		
12	1.1017e-17	-5.3498e-22		
14	1.0555e-17	-3.6192e-22		
16	7.7352e-17	-1.7553e-21		
18	-2.0157e-16	1.8713e-21		
21	5.9252e-15	3.6125e-19		

以下の表は上記の各数値実施例における各条件式の値である。

【 0 0 6 1 】

【表 1】

	数値実施例1	数値実施例2	数値実施例3
$1/\beta_1$	0.17	0.23	0.27
$ f_{12}/f_{11} $	0.38	0.45	0.43
$\beta_2$	0.06	0.10	0.09
$ f_2/L $	0.08	0.10	0.08
$ 1/\beta_3 $	0.20	0.26	0.30
$\{f_4 \cdot (1 - \beta_4) + H_4'\} / L$	0.06	0.06	0.07

図8 は本発明の投影レンズを用いた半導体デバイスの製造システムの要部概略図である。本実施形態はレチクルやフォトマスク等に設けた回路パターンをウエハ（感光基板、第2 物体）上に焼き付けて半導体デバイスを製造するものである。システムは大まかに投影露光装置、マスクの収納装置、原板の検査装置、コントローラとを有し、これらはクリーンルームに配置されている。

【 0 0 6 2 】 同図において1 は光源であるエキシマレーザ、2 はユニット化された照明光学系であり、これらによって露光位置E.P.にセットされたレチクル（マスク、第1物体）3を上部から所定のNA（開口数）で照明している。909 は例えば図2 に示す数値実施例1 の投影レンズであり、レチクル3 上に形成された回路パターン（物体）をシリコン基板等のウエハ7 上に投影して焼付けする。

【 0 0 6 3 】 900 はアライメント系であり、露光動作に先立ってレチクル3 とウエハ7 とを位置合わせする。アライメント系900 は少なくとも1 つのレチクル観察用顕微鏡系を有している。911 はウエハステージである。以

上の各部材によって投影露光装置を構成している。

【 0 0 6 4 】 914 はマスクの収納装置であり、内部に複数のマスクを収納している。913 はマスク上の異物の有無を検出する検査装置である。この検査装置913 は選択されたマスクが収納装置914 から引き出されて露光位置E.P.にセットされる前にマスク上の異物検査を行っている。

【 0 0 6 5 】 コントローラ918 はシステム全体のシーケンスを制御しており、収納装置914、検査装置913 の動作指令、並びに投影露光装置の基本動作であるアライメント・露光・ウエハのステップ送り等のシーケンスを制御している。

【 0 0 6 6 】 以下、本システムを用いた半導体デバイスの製造方法の実施形態を説明する。

【 0 0 6 7 】 図9 は本発明のデバイス（ICやLSI 等の半導体チップ、或いは液晶パネルやCCD 等）の製造方法のフローチャートである。これについて説明する。

ステップ1（回路設計）では半導体デバイスの回路設計を行なう。

ステップ2（マスク製作）では設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。一方、ステップ3（ウエハ製造）ではシリコン等の材料を用いてウエハを製造する。

ステップ4（ウエハプロセス）は前工程と呼ばれ、前記用意したマスク（レチクル）3とウエハ7と本発明の投影レンズとを用いてリソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。

ステップ5（組立）は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。

ステップ6（検査）ではステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行なう。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ7）される。

【0068】図10は上記ウエハプロセスの詳細なフローチャートである。

ステップ11（酸化）ではウエハの表面を酸化させる。

ステップ12（CVD）ではウエハ表面に絶縁膜を形成する。

ステップ13（電極形成）ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。

ステップ14（イオン打込み）ではウエハにイオンを打ち込む。

ステップ15（レジスト処理）ではウエハに感光剤を塗布する。

ステップ16（露光）では本発明の投影レンズ909によってレチクルの回路パターンをウエハに投影露光する。

ステップ17（現像）では露光したウエハを現像する。

ステップ18（エッチング）では現像したレジスト以外の部分を削り取る。

ステップ19（レジスト剥離）ではエッチングがすんで不要となったレジストを取り除く。

【0069】これらのステップを繰り返し行なうことによってウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

【0070】本実施形態の製造方法を用いれば、従来は製造が難しかった高集積度の半導体デバイスを容易に製造することができる。

【0071】なお、以上の実施形態の投影露光装置はレチクル3上の回路パターンを1度でウエハ7上に露光する投影露光装置であったが、これに代えてレーザー光源

からの光を照明光学系を介してレチクル3の一部分に照射し、該レチクル3上の回路パターンを投影レンズでウエハ7上にレチクル3とウエハ7の双方を投影レンズの光軸と垂直方向に該投影レンズの投影倍率に対応させた速度比で同期させて走査して投影・露光する所謂走査型の投影露光装置としても良い。

【0072】

【発明の効果】本発明は以上の構成により、構成枚数が少なくかつ高解像力と広い露光領域を確保した物体側、像側共にテレセントリックの投影レンズを達成する。

【0073】又、本発明の投影レンズを用いた投影露光装置によれば、従来製造が難しかった高集積度の半導体デバイスを容易に製造することができるデバイスの製造方法を達成する。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の投影レンズの基本構成図

【図2】 本発明の投影レンズの数値実施例1のレンズ断面図

【図3】 本発明の投影レンズの数値実施例2のレンズ断面図

【図4】 本発明の投影レンズの数値実施例3のレンズ断面図

【図5】 数値実施例1の収差図

【図6】 数値実施例2の収差図

【図7】 数値実施例3の収差図

【図8】 本発明の投影レンズを用いた半導体デバイスの製造システムの要部概略図

【図9】 本発明のデバイスの製造方法のフローチャート

【図10】 ウエハプロセスの詳細なフローチャート

【符号の説明】

L1 : 第1 レンズ群

L11 : 第11レンズ群（第1 レンズ群を構成する前群）

L12 : 第12レンズ群（第1 レンズ群を構成する後群）

L2 : 第2 レンズ群

L3 : 第3 レンズ群

L4 : 第4 レンズ群

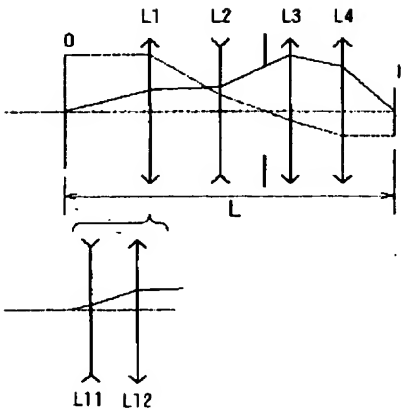
L41 : 第41レンズ群（第4 レンズ群を構成する前群）

L42 : 第42レンズ群（第4 レンズ群を構成する後群）

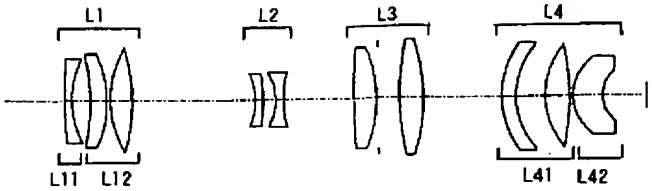
0 : 物体

I : 像

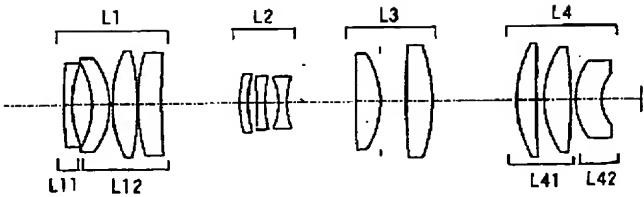
【図 1】



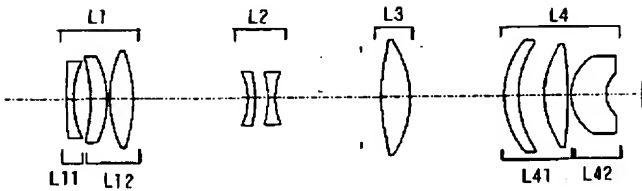
【図 4】



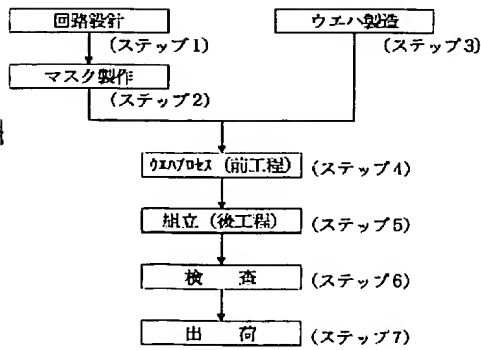
【図 2】



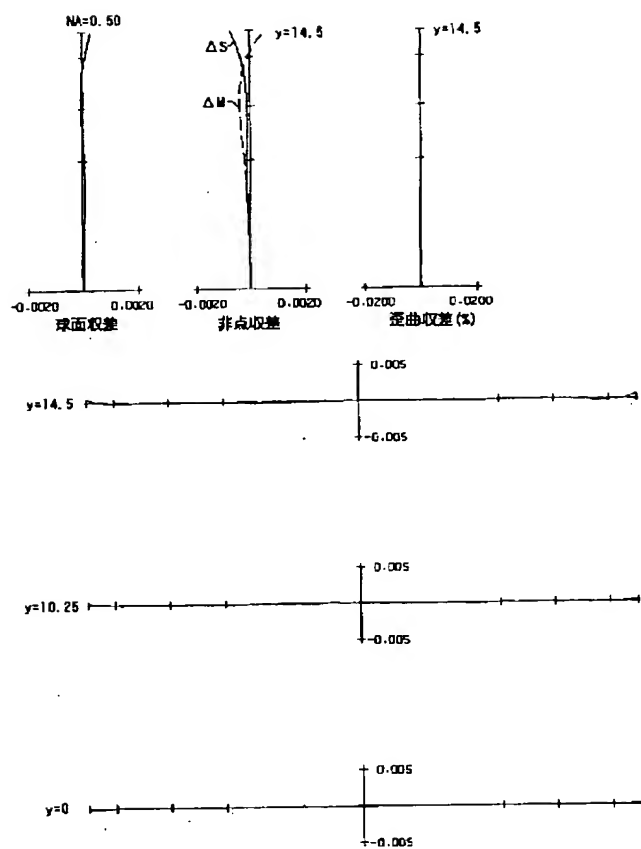
【図 3】



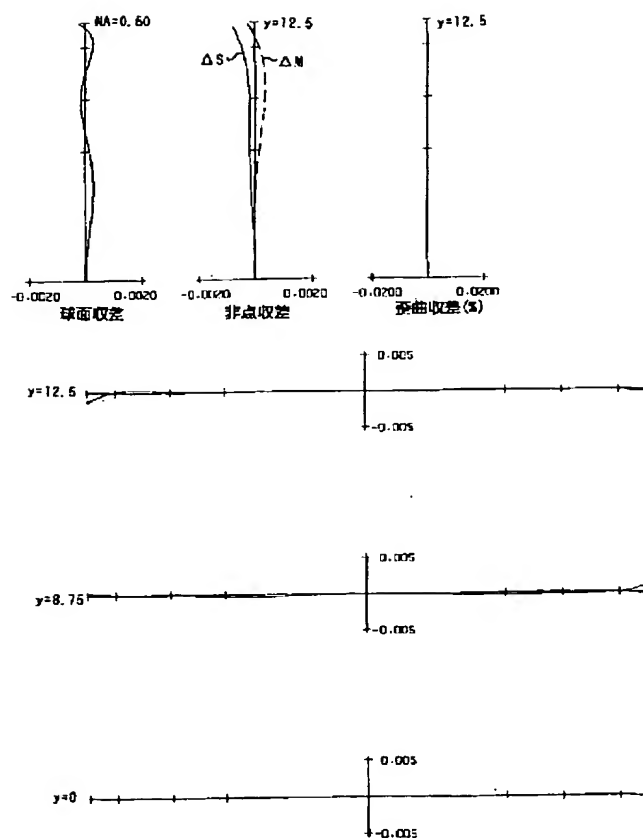
【図 9】



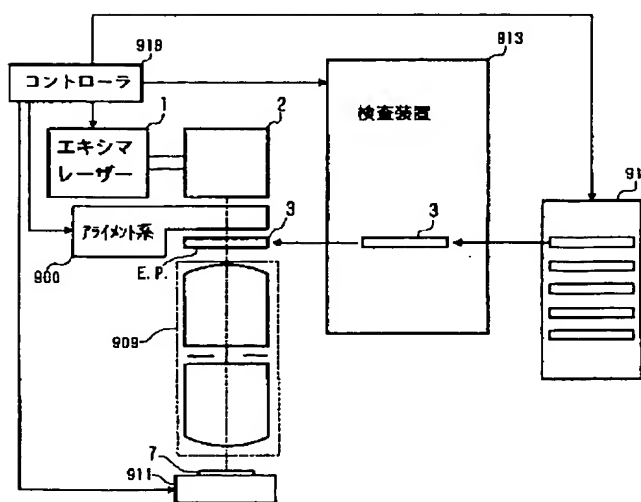
【図 5】



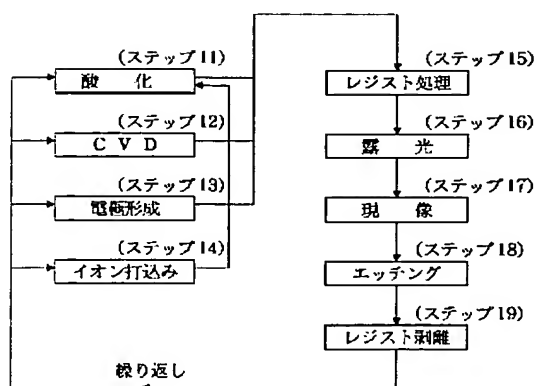
【図 6】



【図 8】



【図 10】



【図 7】

